

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2021 г. по 30.06.2022 г.

по проекту **«Создание методики компьютерного моделирования механического поведения титановых сплавов в условиях сложного напряженного состояния при квазистатических и динамических воздействиях»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 20-79-00102

Руководитель: Скрипняк Владимир Владимирович, канд. физ.-мат. наук

В типичных технических приложениях и в процессе изготовления элементов конструкций титановые сплавы часто подвергается высокоскоростной деформации. Установлено, что при высоких скоростях деформации элементов конструкций из титановых сплавов происходит разогрев зон, в которых протекают пластические деформации. Повышение температуры в объеме титановых сплавов сопровождается существенным термическим разупрочнением. Это приводит к неустойчивости пластического течения и образованию полос локализованного сдвига. Результаты теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что вид напряженного состояния является фактором, влияющим на процессы зарождения и роста повреждений, приводящих к вязкому разрушению.

Прогнозы протекания процессов зарождения и роста пор в условиях локального разогрева, термического разупрочнения деформируемых альфа титановых и других ГПУ сплавов, и как следствие, прогноз развития пластической деформации и повреждений в пространственных конструкциях на основе лишь регистрируемых данных об интегральных усилиях и перемещениях на поверхности образцов является затруднительным.

В связи с этим в соответствии с техническим заданием проекта в 2021-2022 г. были проведены:

- исследования влияния сложного напряженного состояния на механическое поведение и разрушение сплава VT5-1 при повышенной температуре 673 К в диапазоне скоростей деформации от 0.1 1/с до 1000 1/с. Испытания проводились на стенде Instron VHS 40/50-20 на плоских образцах с постоянным сечением рабочей части и образцах с надрезом. Поля деформаций в образце определялись методом корреляции цифровых изображений (DIC) ;

- исследования влияния параметра трехосности напряженного состояния на распределение пластических деформаций в объеме сплава VT5-1 при квазистатическом и динамическом нагружении;

- исследования распределений пластических деформаций при зарождении микроповреждений, на стадии формирования и роста трещины в титановом сплаве VT5-1;

- исследования влияния комбинации скорости деформации и параметра трехосности напряженного состояния на пластичность при повышенной температуре,

закономерности деформационного упрочнения альфа титановых сплавов на примере сплавов ВТ5-1 и ВТ1-0 и двухфазных альфа+бета титановых сплавов на примере сплава ВТ6 в широком диапазоне температур методом обратного компьютерного моделирования;

- исследования механического поведения ГПУ сплавов в широком диапазоне скоростей деформации и температур методом имитационного моделирования.

При выполнении проекта были получены новые экспериментальные данные об эволюции полей перемещений и деформаций во времени плоских образцов сплава ВТ5-1 с радиусами надрезов 10 мм, 5 мм, 2.5 мм и образцов без надрезов при растяжении с эффективными скоростями деформации 0.1 1/с, 100 1/с, 1000 1/с при повышенной температуре. В результате проведенных экспериментальных исследований получены диаграммы деформирования сплава ВТ5-1 при растяжении плоских гладких образцов и образцов с надрезами, имевших радиусы 10 мм, 5 мм, 2.5 мм. Для моделирования механического поведения титановых сплавов при квазистатических и динамических нагрузках в широком диапазоне температур был разработан алгоритм, реализованный в виде программы на фортране 90. Программа выполняет следующие функции: обеспечивает расчет напряжений, деформаций, неупругих деформаций, параметра поврежденности при численном моделировании механического поведения альфа фазы титановых сплавов при квазистатических и динамических нагрузках, включая ударно-волновые воздействия.

При выполнении прочностного анализа конструкций программа позволяет адекватно описывать процессы упругопластического деформирования с учетом нелинейного деформационного упрочнения, скоростной чувствительности напряжения течения, влияния температуры на физико-механические свойства и кинетику зарождения и роста повреждений ГПУ сплавов. Результаты, полученные в рамках проекта, о совместном влиянии сложного напряженного состояния и скорости деформации на предельные деформации альфа и альфа+бета титановых сплавов показали, что снижение эффективного предельного удлинения может быть связано как с интенсивной локализацией, так и с зарождением и ростом пор в условиях несовместности деформаций. Результаты исследования указывают на то, что в условиях динамических воздействий в широком диапазоне скоростей деформации и температур вид функциональной зависимости деформации до разрушения от параметра трехосности напряженного состояния может варьироваться с температурой и эффективной скоростью деформации. Было обнаружено в натурном эксперименте и численных расчетах, что уменьшение минимального сечения рабочей части с ростом деформации происходит неравномерно в условиях локализации пластического течения и больших степеней пластических деформаций. Кроме того, образование полос локализации приводит к несимметричному искажению рабочей части образцов. Результаты численных экспериментов показали, что модель, учитывающая дилатансию, возникающую при зарождении несплошностей материала из-за несовместности деформаций, позволяет получить гетерогенное развитие пластической деформации с образованием полос локализованного сдвига, что обеспечивает согласие результатов моделирования с экспериментальными данными.